

УДК 536.2

DOI 10.24411/2409-3203-2020-12303

К ВЫБОРУ МАТЕРИАЛОВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ УСЛОВИЙ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛООБМЕНА

Вендин Сергей Владимирович

д.т.н., профессор кафедры электрооборудования и электротехнологий в АПК
ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ
Россия, п. Майский

Ульянцев Юрий Николаевич

к.т.н., доцент кафедры электрооборудования и электротехнологий в АПК
ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ
Россия, п. Майский,

Лукьянченко Александр Михайлович

студент ЭОиЭТ гр. 34 Эл по направлению 35.03.06
ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ
Россия, п. Майский

Аннотация: В статье рассмотрены вопросы применимости различных теплоизоляционных материалов для условий нестационарной теплопередачи. При нестационарной теплопередаче имеющей место при резкой смене внешних температур на поверхности объекта (стенки), а также при обеспечении технологических режимов протекания процессов связанных с нагревом (охлаждением) продукта, скорость протекания процессов определяется величиной коэффициента температуропроводности. Поэтому при выборе материала теплоизоляции для условий нестационарных тепловых процессов необходимо, в первую очередь, учитывать его коэффициент температуропроводности. Согласно полученным результатам, можно заключить, что наименьшая температуропроводность у таких материалов, как дерево и композитные материалы на основе дерева, а из искусственных материалов ближе к ним можно отнести пенополиуретан. Таким образом, для условий нестационарного теплообмена для ограждающих конструкций, а также для конструктивных элементов установок с позиций теплоизоляции эти материалы подходят лучше всего.

Ключевые слова: Теплоизоляция, нестационарные условия, теплообмен.

TO THE CHOICE OF HEAT INSULATION MATERIALS FOR CONDITIONS OF NON-STATIONARY HEAT EXCHANGE

Vendin Sergey Vladimirovich

Ph.D., Professor of the Department of electrical equipment and electrical technologies in the
agro-industrial complex
Belgorod State Agrarian University, Russia, P. Maisky

Ulyantsev Yuri Nikolaevich

Ph.D., Associate Professor of the Department of Electrical Equipment and Electrical
Technologies in the agro-industrial complex
Belgorod State Agrarian University, Russia, P. Maisky

Lukyanchenko Alexander Mikhailovich

student in the direction of 35.03.06
Belgorod State Agrarian University, Russia, P. Maisky

Abstract: The article discusses the applicability of various thermal insulation materials for non-stationary heat transfer conditions. In case of unsteady heat transfer taking place during a sharp change in external temperatures on the surface of an object (wall), as well as providing technological modes of the processes associated with heating (cooling) of the product, the speed of the processes is determined by the value of the thermal diffusivity. Therefore, when choosing a thermal insulation material for non-stationary thermal processes, it is necessary, first of all, to take into account its thermal diffusivity. According to the results obtained, it can be concluded that the lowest thermal diffusivity of such materials as wood and composite materials based on wood, and polyurethane foam can be attributed closer to artificial materials. Thus, for conditions of unsteady heat transfer for building envelopes, as well as for structural elements of plants from the standpoint of thermal insulation, these materials are best suited.

Keywords: Thermal insulation, non-stationary conditions, heat transfer.

Энергосбережение и повышение коэффициента полезного действия различных тепловых систем является актуальной задачей. Снижение потерь теплоты важно, как для сооружений промышленного и сельскохозяйственного назначения, а также и для жилых зданий [1-4 и др.]. Кроме того, при реализации различных технологических процессов их эффективность во многом определяется соблюдением температурных режимов [5-7 и др.] или конечной температурой и скоростью нагрева продукта [8, 9 и др.].

Одним из путей снижения потерь теплоты является правильный выбор эффективных теплоизолирующих материалов [2 - 4], как для ограждающих конструкций, так и для элементов установок и устройств.

Энергосбережение можно планировать, как на стадии создания объектов и производств, а также в процессе повседневной эксплуатации и за счет реконструкции введенных в эксплуатацию зданий и сооружений. В повседневной жизни экономии энергии можно проводить за счет организационных мероприятий, но они будут сведены к нулю, если не использовать высокотехнологичные изоляционные материалы. Правильная теплоизоляция зданий и сооружений позволяет проводить экономию, как в зимнее время на обогрев, так и в летнее время – на охлаждение и кондиционирование (до 40% всей электроэнергии).

Если использовать высокотехнологичные и качественные теплоизоляционные материалы, то можно уменьшать толщину ограждающих конструкций и, следовательно, повысить полезный объем помещений и снизить нагрузку на фундамент и основание сооружений. Нельзя не учитывать и тот факт, что экономические соображения являются определяющими в современных строительных технологиях при выборе толщины стенки ограждающих конструкций. Поэтому приходится использовать различные, предлагаемые на рынке специальные искусственные теплоизолирующие материалы, которые обладают своими достоинствами и недостатками. Заметим также, что при использовании различных теплоизоляционных материалов необходимо наличие сертификата санитарно-эпидемиологического заключения и сертификата соответствия Техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности.

При правильном выборе тепловой изоляции конструктивных элементов различных тепловых систем снижаются общие энергозатраты и повышается коэффициент полезного действия таких систем.

Учитывая, что рынок насыщен различными теплоизолирующими материалами природного и искусственного происхождения, то задача любого проектировщика или частного застройщика в выборе правильного теплоизоляционного решения при соблюдении существующих нормативов и собственных предпочтений является актуальной.

Как указывалось ранее, теплоизоляция предназначена для предотвращения тепловых потерь из обогреваемых изнутри конструкций, а также для задержки тепла извне при высоких температурах снаружи помещения.

Эффективность теплоизоляции определяется их теплофизическими характеристиками [2-4]: влажность, пористость, паропроницаемость и максимальную температуру эксплуатации. Чтобы учесть различные требования к теплоизоляционным материалам на рынке предлагаются многокомпонитные (многослойные) теплоизоляционные материалы [3].

На настоящее время основной характеристикой теплоизоляционных материалов является коэффициент теплопроводности λ , так как в сочетании с толщиной материала δ он определяет величину термического сопротивления R_λ и коэффициента теплопередачи $k = \delta / \lambda$. (1)

Такой подход справедлив если на свободных поверхностях в течение длительного времени поддерживаются стационарные граничные условия (неизменные температуры и условия теплообмена на поверхности).

Для теплоизоляции ограждающих конструкций на рынок поставляются слоистые теплоизоляционные материалы, так называемые «сэндвичи». Оценка эффективности их теплоизоляционных свойств проводится при стационарных условиях с учетом суммарного коэффициента теплопередачи.

Однако для реальных условий эксплуатации характерны нестационарные стационарные граничные условия, когда температура и условия теплообмена на поверхности могут сильно изменяться в течение короткого времени. В этом случае эффективность передачи теплоты (теплоизоляции) и скорость изменения разницы температур между внешней и внутренней средой и будет зависеть от размеров объекта и от коэффициента температуропроводности a , зависящего не только от коэффициента теплопроводности λ , но и от плотности ρ и теплоемкости c стенки и внутренней среды $a = \lambda / \rho c$. (2)

Поэтому задача состоит в том, чтобы на основе имеющихся материалов обеспечить высокие теплоизоляционные свойства, прочность и долговечность теплоизоляции в условиях нестационарного теплообмена. Ниже приведен анализ влияния теплофизических параметров материала на скорость изменения температуры при нестационарной теплопередаче.

Решение задач нестационарной теплопроводности в слоистых средах представляет определенные технические трудности. В общем случае для объемных тел она не решена до настоящего времени. Однако многие практические задачи могут рассматриваться как одномерные, т.е. зависящие от одной координаты, определяющей объемную характеристику тела. Решения таких задач для многослойных структур приведены в работах [10-12].

Согласно общепринятым теоретическим подходам скорость процесса теплопередачи через стенку определяется решением уравнения теплопроводности Фурье с учетом начальных условий, условий сопряжения на границах раздела слоев и внешних граничных условий.

Решение задачи нестационарной теплопроводности в слоистых средах, получаемое методом разделения переменных, как правило, представляет сумму ряда по собственным функциям задачи [12]. В таком случае температура в любом слое $T_i(r, t)$ n -компонентной системы определяется выражениями вида:

$$T_i(r, t) = \sum_{m=0}^{\infty} A_m F_{i,m}(\mu_{i,m} r) \exp(-\mu_{i,m}^2 a_i t), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

где A_m , $F_{i,m}(\mu_{i,m} r)$, r , $\mu_{i,m}$, t , a_i - соответственно постоянные коэффициенты, собственные функции задачи, пространственная координата, собственные числа задачи, координата времени и коэффициент температуропроводности i -го слоя.

Решение вида (3) может быть преобразовано к виду:

$$T_i(r, t) = T_{y,i}(r)(1 - \exp(-\mu_i^2 a_i t)), \quad (4)$$

где $T_{y,i}(r)$ – установившееся температурное поле в рассматриваемом слое.

В этом случае скорость изменения температуры в слое будет равна:

$$T_i(r, t)/dt = \mu_i^2 a_i T_{y,i}(r) \exp(-\mu_i^2 a_i t) . \quad (5)$$

Выражение (5) может быть представлено следующим образом:

$$\frac{T_i(r, t)}{dt} = T_{y,i}(r) (\exp(-t/\tau))/\tau . \quad (6)$$

где τ – постоянная времени процесса:

$$\tau = 1/\mu_i^2 a_i . \quad (7)$$

Таким образом скорость изменения температуры в слое будет тем меньше, чем больше будет постоянная времени процесса τ , или чем меньше коэффициент температуропроводности слоя a_i . Отсюда следует важный вывод о том, что при резкой смене внешних температур на поверхности объекта (стенки) определяющая роль отводится не коэффициенту теплопроводности λ_i , а коэффициенту температуропроводности слоя a_i , который согласно (2) зависит от коэффициента теплопроводности λ_i , плотности ρ_i и массовой теплоемкости c_i слоя.

Ниже в таблице 1 приведены характеристики некоторых видов теплоизоляционных материалов [2, 4].

Таблица 1 - Теплофизические характеристики некоторых видов теплоизоляционных материалов

Изоляция	Теплопроводность, Вт/м °С	Плотность, кг/м ³	Теплоемкость, Дж/кг·°С
1. Древесноволокнистая плита	0,04	160	1800
2. Щепа	0,055	90	2520
3. Пробка дробленая	0,045	100	1512
4. Целлюлозная вата	0,045	70	2160
5. Целлюлозная вата	0,04	55	2160
6. Пенополиуретан	0,03	30	1560
7. Перлит вспученный	0,05	90	800
8. Шерсть овечья	0,04	20	1800
9. Полистирол	0,04	20	1440
10. Полиэфирные волокна	0,045	15	480
11. Хлопок	0,04	25	576
12. Минеральная вата	0,04	18	1200
13. Сталь углеродистая	29,1	7800	690

На рисунке 1 приведены номограммы расчетных значений коэффициента температуропроводности a_i , рассчитанные с учетом характеристик теплоизоляционных материалов таблицы 1 по выражению (2).

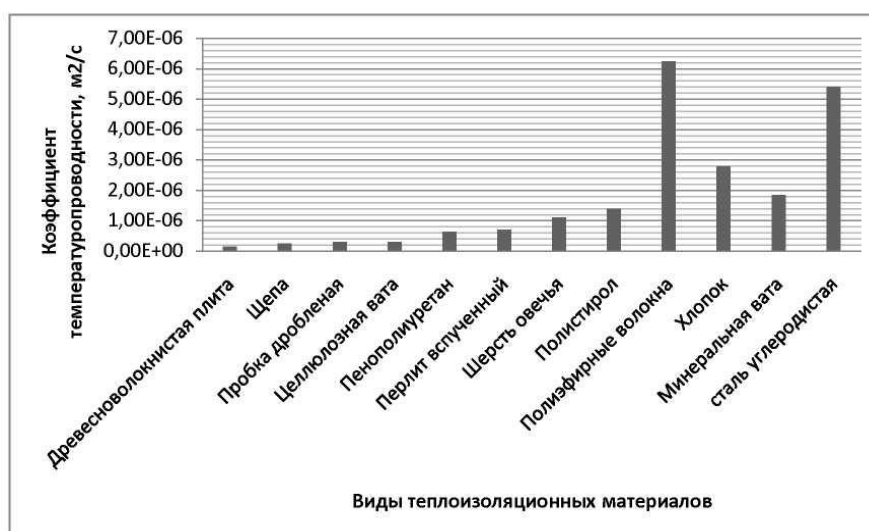


Рисунок 1 - Коэффициент температуропроводности теплоизоляционных материалов

Представленные данные свидетельствуют, что наименьшая температуропроводность у таких материалов, как дерево и композитные материалы на основе дерева. Из искусственных материалов ближе к ним можно отнести пенополиуретан. Таким образом, для условий нестационарного теплообмена на внешних ограждающих поверхностях эти материалы подходят лучше всего.

В заключение отметим, что необходимость экономии энергоресурсов актуальна практически во всех сферах человеческой деятельности. Энергосбережение можно планировать, как на стадии создания объектов и производств, а также в процессе повседневной эксплуатации и за счет реконструкции введенных в эксплуатацию зданий и сооружений. Любое утепление предназначено для предотвращения тепловых потерь из обогреваемых изнутри конструкций, а также для задержки тепла извне при высоких температурах снаружи помещения. Поэтому необходимо индивидуально подходить к выбору теплоизоляционных материалов. В любом конкретном случае эффективность применения материалов для теплоизоляции будет зависеть от их теплофизических характеристик.

В настоящее время на рынок поставляются слоистые теплоизоляционные материалы, так называемые «сэндвичи». Однако оценка эффективности их теплоизоляционных свойств проводится при стационарных условиях с учетом суммарного коэффициента теплопередачи.

В результате анализа установлено, что скорость изменения температуры в слое будет тем меньше, чем больше будет постоянная времени процесса τ , или чем меньше коэффициент температуропроводности слоя a_i . Отсюда следует важный вывод о том, что при резкой смене внешних температур на поверхности объекта (стенки) определяющая роль отводится не коэффициенту теплопроводности λ_i , а коэффициенту температуропроводности слоя a_i , который зависит от коэффициента теплопроводности λ_i , плотности ρ_i и массовой теплоемкости c_i слоя. Согласно полученным результатам, можно заключить, что наименьшая температуропроводность у таких материалов, как дерево и композитные материалы на основе дерева. Из искусственных материалов ближе к ним можно отнести пенополиуретан. Таким образом, для условий нестационарного теплообмена на внешних ограждающих поверхностях эти материалы подходят лучше всего.

Список литературы:

1. Энергосбережение на предприятиях АПК [Текст] / Н.Ю. Литвинюк, В.В. Касаткин, Ф.М. Бурлакова, М.В. Свалова // В сборнике: Инновационное развитие АПК. Итоги и перспективы Материалы Всероссийской научно-практической конференции. ФГОУ ВПО «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия», 2007.- С. 76-80.
2. Кузнецов, Г. Ф. и др. Тепловая изоляция. Справочник строителя [Текст] / Г.Ф. Кузнецов и др. - М.: Стройиздат, 1985. - 421 с.
3. Вороньева, А. В. Эффективность применения теплоизоляционных материалов в многослойных ограждающих конструкциях [Текст] / А. В. Вороньева, Т. И. Шевцова, М. С. Свиридов // Молодой ученый. - 2017. - №21.1. - С. 115-118.
4. Горелик, П.И. Современные теплоизоляционные материалы и особенности их применения [текст] / П.И. Горелик, Ю.С. Золотова // Строительство уникальных зданий и сооружений.- 2014.- №3(18).- С.93-103.
5. Вендин, С.В. Автоматизация механических и тепловых процессов в многокамерном биогазовом реакторе непрерывной загрузки сырья [Текст] / С.В. Вендин, А.Ю. Мамонтов // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина.- №4 (74), 2016.- С.55-60.
6. Вендин, С.В., Мамонтов А.Ю., Каплин А.В. Программа расчета геометрических и конструкционных параметров биогазового реактора [Текст] / С.В. Вендин, А.Ю. Мамонтов, А.В. Каплин // Промышленная энергетика. –№3, 2017. - С. 51-55.
7. Вендин, С.В. Расчет мощности дополнительных источников теплоты для подогрева биомассы в биогазовом реакторе [Текст] / С.В. Вендин, А.Ю. Мамонтов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им.В.Г. Шухова.- №7, 2017.- С.97-99.
8. Вендин, С.В. Высокочастотный нагрев в технологии обработки семян зерновых [Текст] / С.В. Вендин // Техника в сельском хозяйстве. – 1994. – № 3. – С. 18.
9. Вендин, С.В. Экспериментальные исследования процессов СВЧ обработки семян [Текст] / С.В. Вендин //Монография.- Москва-Белгород: ООО «ЦКБ «БИБКОМ».- 2017.-116 с.
10. Vendin, S.V. Calculation of nonstationary heat conduction in multilayer objects with boundary conditions of the third kind [текст] / S.V. Vendin // Journal of Engineering Physics and Thermophysics.-1993. Т. 65. № 2.- С. 823.
11. Vendin, S. On the Solution of Problems of Transient Heat Conduction in Layered Media [текст] / S. Vendin// International Journal of Environmental and Science Education.- 2016.- V. 11. N. 18.- p.12253-12258.
12. Вендин, С.В. К решению задач нестационарной теплопроводности в слоистых средах [текст] / С.В. Вендин, И.А. Щербинин //Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова.- 2016.- №3.- С. 96-99.

